

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

67 EP 0 758 283 B 1

10 DE 695 01 555 T 2

51 Int. Cl.⁶:
B 23 K 26/00
F 02 K 9/64

21 Deutsches Aktenzeichen:	695 01 555.9
66 PCT-Aktenzeichen:	PCT/US95/05362
66 Europäisches Aktenzeichen:	95 918 338.5
67 PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 96/29785
68 PCT-Anmeldetag:	1. 5. 95
67 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	9. 11. 95
67 Erstveröffentlichung durch das EPA:	19. 2. 97
67 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	28. 1. 98
67 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	20. 8. 98

20 Unionspriorität:
235586 29. 04. 94 US

70 Patentinhaber:
United Technologies Corp., Hartford, Conn., US

74 Vertreter:
Klunker und Kollegen, 80797 München

80 Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

72 Erfinder:
DALZELL, William, J., Jr., Jupiter, FL 33458, US;
JAHNSEN, Eric, Jupiter, FL 33458, US

50 HERSTELLUNG VON ROHRWAND-RAKETENBRENNKAMMERN MIT HILFE VON
LASER-AUFTRAGSCHWEISSEN

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 695 01 555 T 2

DE 695 01 555 T 2

5 Die Erfindung betrifft Raketentriebwerke und insbesondere die Herstellung rohrförmiger Gebilde, die sich zur Verwendung als regenerativ gekühlte Schubkammern für Raketentriebwerke eignen.

10 Raketentriebwerke weisen generell Schubkammern auf, die als Folge der Verbrennung und der Beschleunigung der Treibstoffe extrem hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Als Folge werden die Wände der Schubkammern, der Brennkammern und der Düsenanordnungen häufig durch Strömenlassen eines Kühlmittels durch Rohre oder Kanäle, welche die Innenwand der Schubkammer bilden, gekühlt. Effektiv kann man
15 sich die Schubkammer als eine Hochdruckwärmetauschereinheit vorstellen, innerhalb derer die Treibstoffe verbrannt werden, die von einer strukturellen Umhüllung umgeben ist. Da es einen andauernden Bedarf nach Raketen mit größerer Gewichtstragekapazität gibt, wird nach neuen Wegen gesucht, um derartige Schubkammern ökonomischer
20 bereitzustellen, und dabei deren Schub und Hitzewiderstandsfähigkeit zu verbessern und eine Leckage von stark unter Druck stehenden Gasen von dem Inneren der Schubkammer zu dem Äußeren zu verhindern.

25 Ein typisches Beispiel einer derartigen Schubkammer ist in dem US Patent 3,208,132 von Escher beschrieben, das eine Raketenkammer beschreibt, die durch Ausbilden vorgeformter Kühlmittelströmungspassagen zwischen zwei Blechen und anschließendes Verschweißen oder Verlöten miteinander der geformten Bleche erzeugt wird, um individuelle Strömungspassagen zu bilden. Die Integrität der
30 derart gebildeten Schweißungen ist aber schwierig zu untersuchen und schwierig zu verifizieren.

In dem US Patent 3,190,070, lehrt Neu das Erzeugen einer Raketenkammer aus einer Mehrzahl von vorgeformten
35 Kühlmittleitungen mit trapezförmigem Querschnitt in einer Relation Seite an Seite, wobei die Rohrleitungen in ihrem Querschnitt am

Ausströmdüsenhals verringert sind, um die Kühlmittelströmungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

5 Außerdem lehren Stockel et al. in dem US Patent 3,595,025 eine Raketenkammer-Innenwand mit Nuten darin, welche Kühlkanäle bilden, wenn die Innenwand mit einer Außenwand vereinigt wird, die galvanisch an dieser angebracht wird. Für solche Nuten ist aufwendiges und kostspieliges Bearbeiten und aufwendiger und kostspieliger Arbeitsaufwand erforderlich.

10 Weitere Patente, die das Herstellen von Raketentriebwerken betreffen, sind das US Patent 3,127,667 von Tumavicus, welches eine doppelt dicke Wandkonstruktion lehrt, das US Patent 3,690,103 von Dederre et al., welches das Verbinden rohrförmiger Elemente, das Füllen der Verbindungsgebiete dazwischen und das Elektroformen einer stabilen
15 Außenschicht über dem Äußeren der rohrförmigen Elemente betrifft, das US Patent 3,501,916 von Butter et al., welches das Formen der zur Verwendung in Raketentriebwerks-Brennkammern geeigneter rohrförmiger Elemente betrifft, und das US Patent 3,349,464 von
20 Becker et al., welches weitere Gestaltungen länglicher hohler Rohre, die verwendet werden können, und Verfahren zu deren Herstellung lehrt. Ferner lehrt das US Patent 2,844,939 (gegen das der Anspruch 1 abgegrenzt ist) von Schultz eine Rohrbündel-Brennkammer mit einer flexiblen, im wesentlichen nicht porösen umgebenden Hülle aus
25 Neopren. Das US Patent 3,224,678 von Rosman lehrt eine modulare Schubkammer, bei der einzelne Rohrbündel miteinander verbunden sind. Das US Patent 3,714,695 von Beeson lehrt das Zusammenschweißen von Rohren zu einem Mantel und dann das Formen des Mantels in jede benötigte Kontur, im Gegensatz zu dem Konturieren der einzelnen Rohre
30 vor dem Zusammenschweißen von diesen. Ferner betrifft das US Patent 3,897,316 von Huang eine zusammengesetzte, mit Kanälen versehene Wandkonstruktion.

Die bisher vorgeschlagenen Verfahren für den Aufbau von Brennkammern mit einer rohrartigen Wand waren aber mit einer Anzahl von Problemen behaftet, die dem Fachmann wohlbekannt sind, beispielsweise bei der erzielbaren Kühlkapazität, den Begrenzungen der Passagengröße, der Materialauswahl und deren Eignung für die Herstellung. Folglich wird ein Verfahren zur Herstellung von Raketenschubkammern benötigt, wobei die Kühlpassagen einfach und wirtschaftlich hergestellt werden und miteinander und mit der zugehörigen strukturellen Ummantelung sicher verbunden werden. Es ist deshalb ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum miteinander Verbinden der Rohre der Wärmetauschereinheit einer Raketenschubkammer auf eine wirtschaftliche, schnelle und sichere Art mit verbesserter Widerstandsfähigkeit gegen Leckage von Treibmittelverbrennungsprodukten und minimaler metallurgischer Auswirkung auf die Rohre selbst bereitzustellen. Es ist außerdem ferner erwünscht, einen rohrartigen Schubkammeraufbau mit einer integral erzeugten äußeren strukturellen Oberfläche bereitzustellen.

Die vorliegende Erfindung ist auf ein Verfahren zum Herstellen einer Raketenschubkammer gerichtet, welches sichere und metallurgisch solide Verbindungen zwischen benachbarten Kühlmittelrohren bereitstellt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden eine Mehrzahl von vorgeformten Wärmetauscherrohren Seite an Seite in einer Spannvorrichtung angeordnet, wobei die Spannvorrichtung eine entsprechend festgelegte Gestalt, beispielsweise eine "Mae West" Form besitzt, und so ein Rohrbündel mit der gewünschten Gestalt erzeugt. Diese Rohre werden miteinander durch ein Laser-Pulverinjektionsschweißverfahren derart miteinander verbunden, daß die Spalte zwischen den benachbarten Rohren geschlossen werden und die Rohre sicher miteinander verbunden werden. Eine strukturelle Ummantelung kann dann an dem Rohrbündel befestigt werden. Dies kann in situ erfolgen, indem man fortfährt, die Oberfläche durch das Laser-Pulverinjektionsverfahren unter Verwendung einer geeigneten Zusammensetzung des Mantels zu beschichten, oder durch in Position

5 Schweißen einer vorab geformten Ummantelung. Das Laser-Pulverinjektionsverfahren kann auch beim Herstellungsprozeß durchgeführt werden, um ein Reparaturverfahren für das Rohrbündel bereitzustellen, falls nach dem Herstellungsprozeß das Bündel beschädigt sein sollte oder ungenügende Verbindung zeigen sollte.

10 Damit umfaßt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer Raketenschubkammer mit einer Brennkammer, einem Halsabschnitt und einem Düsenabschnitt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Formen einer Mehrzahl von länglichen hohlen Rohren mit einer Gestalt, die der Form einer Raketenschubkammer entspricht;
15 Erzeugen eines länglichen hohlen Elements durch umfangsmäßig Platzieren der hohlen Rohre in einer parallelen Relation Seite an Seite und in einer gleich beabstandeten, einkreisenden Relation zu einer gemeinsamen Längsachse; Aufbringen eines Füllmaterials auf die Bereiche zwischen den Rohren in Relation Seite an Seite, um so die Bereiche zwischen den Rohren vollständig zu füllen und die Rohre miteinander zu verbinden, wobei das Füllmaterial durch
20 Lasereinjektionsschweißen aufgebracht wird.

20 Bestimmte bevorzugte Ausführungsformen werden nun nur beispielhaft und mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt:

25 Fig. 1 zeigt ein Schema einer gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellten rohrartigen Schubkammer;

 Fig. 2 ist eine Endansicht der in Fig. 1 gezeigten Schubkammer;

30 Fig. 3 ist ein Vertikalschnitt der Schubkammerwand, der bei der Linie 3-3 von Fig. 1 genommen wurde;

 Fig. 4 zeigt ein Schema einer konventionellen Laser-Pulverinjektions-Fokussieranordnung;

Fig. 5 zeigt ein Schema der erfindungsgemäßen Laser-Pulverinjektions-Fokussieranordnung; und

5 Fig. 6 zeigt ein Schema eines Laser-Pulverinjektions-Beschichtungsgeräts, das zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung geeignet ist.

10 Wie vorangehend ausgeführt, betrifft die Erfindung den Aufbau der Seiten- oder Containmentwände der Brennkammer, des Halses und der Ausströmdüse (die nachfolgend gemeinsam als die Schubkammer bezeichnet werden) eines Raketentriebwerks. Der genannte Wandaufbau liefert eine Wand von großer Festigkeit bei einem Minimum an Material und macht so die Rakete vom Standpunkt des Leistungs-zu-Gewicht-Verhältnisses hoch effizient. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, beträchtlich höhere Schubleistungen bei einem vorgegebenen Gewicht der Schubkammer zu erzielen, als das bei konventioneller aufgebauten Raketentriebwerken, beispielsweise solchen mit massiven Wänden oder solchen mit Doppelwänden aus relativ dünnem Material, die durch das Plazieren einer strukturellen Ummantelung über und konzentrisch zu einer inneren Wand hergestellt werden, möglich war. Die Verbesserungen bei der Effizienz werden aus der nachfolgenden Erörterung deutlich werden.

25 Der Stand der Technik heutiger Raketentriebwerkherstellung konzentriert sich auf zwei Verfahren für die Herstellung von Schubkammern. Das erste dieser zwei Verfahren befaßt sich mit Konfigurationen, die als der Kanaltyp bezeichnet werden, und wird exemplarisch von den vorangehend erörterten US Patenten 3,595,025 und 3,897,316 dargestellt. Das zweite Verfahren befaßt sich mit der Herstellung von Schubkammern vom Rohrtyp, wie exemplarisch von den vorangehend erörterten US Patenten 3,208,132, 3,501,916 und 3,690,130 dargestellt. Es ist bekannt, daß Schubkammern mit einem Aufbau des Kanaltyps für Betrieb bei höherem Druck und deshalb für höheren Schub in der Lage

sind, sie sind aber durch eine geringere Wärmetauscherfähigkeit gehandikapt und kosten beträchtlich mehr als Schubkammern vom Rohrtyp. Umgekehrt sind die Kammern vom Rohrtyp in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt aber wirtschaftlicher herzustellen als die Kammern des Kanaltyps. Die vorliegende Erfindung betrifft Schubkammern des Rohrtyps mit größerer Schubkapazität und ist auf ein Verfahren zu deren wirtschaftlicherer Herstellung und auf ein Verfahren gerichtet, durch welches Defekte leicht repariert und korrigiert werden können, ohne das gesamte Rohrbündel zu zerlegen.

Momentan werden rohrartige Schubkammern durch Verbinden einer großen Anzahl sehr präzise geformter und ausgerichteter einzelner Metallrohre aus einem Material wie rostfreiem Stahl 347 hergestellt, um eine im wesentlichen kreisförmige Kammer mit zusammengesetzter Krümmung zu erzeugen. Ein jedes Rohr wird mit den benachbarten Rohren durch Löten, Schweißen oder Hartlöten verbunden, um einen soliden Containmentkessel zu erzeugen, und dann wird die äußere Ummantelung an der Außenoberfläche des Rohrbündels festgemacht. Das Hartlöten dieser Rohre miteinander erfordert ein sehr präzises Positionieren der Rohre relativ zueinander, da der Spalt zwischen diesen sehr genau kontrolliert werden muß und sehr gleichförmig sein muß, üblicherweise mit einem maximal tolerablen Spalt von 0,203 mm (0,008 inch) für ein erfolgreiches Löten. Das Aufbringen der Ummantelung beinhaltet die Herstellung von sorgsam geformten und bemessenen Metallblechen, die in Position an dem Rohrbündel während oder nach dem Verlöten der Rohre angelötet oder angeschweißt werden.

Die vorliegende Erfindung betrachtet das Verbinden von Rohren unterschiedlicher Materialien, beispielsweise Kupferlegierungen, rostfreier Stahl oder Nickellegierungen, durch andere Verfahren als durch Löten, ohne unakzeptable Beschädigung oder Änderung der Eigenschaften der Rohre zu verursachen. Das beschriebene Verfahren ist in der Lage, eine Legierungsschicht zwischen den Rohren eines Bündels durch Laser-Pulverinjektion abzuscheiden, um den Raum zwischen den

- Rohren vor dem nachfolgenden Anbringen einer strukturellen Ummantelung durch Laser-Pulverinjektions-, Plasmasprüh- oder Schweißverfahren zu füllen. Es wird auch als innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung angesehen, das Aufbringen von Füllmaterial durch ein Laser-Pulverinjektionsverfahren über das einfache Füllen und Verbinden der Spalte zwischen den Rohren fortzusetzen, um die Rohre mit einer ausgewählten Legierung oder einer Gruppe von Legierungen zu überdecken, um in situ die strukturelle Ummantelung zu erzeugen.
- Wie angeführt, können die Rohre, die verbunden werden, aus jeder Zusammensetzung bestehen, die für die Verwendung in Schubkammern des Rohrtyps geeignet sind. Geeignete Superlegierungen auf Nickelbasis umfassen Legierungen wie INCONEL[®] 718 (Ni - 19 Cr - 0,05 C - 18,0 Fe - 0,9 Ti - 0,6 Al - 3,0 Mo - 5,2 Cb/Ta), INCONEL[®] 625 (Ni - 21,5 Cr - 9,0 Mo - 3,65 Cb/Ta) und HAYNES[®] A242 (Ni - 25 Al - 8 Cr). Geeignete rostfreie Stähle umfassen die, welche als 347 (Fe - 18 Cr - 10,5 Ni), 304 (Fe - 19 Cr - 9,5 Ni) und 316 (Fe - 13 Ni - 18 Cr - 2,25 Mo) bezeichnet werden. Geeignete Kupferlegierungen, den Metallen der Wahl wegen ihrer hohen Leitfähigkeit, umfassen NARLOY Z (vakuumverarbeitetes Cu - 3 Ag - 0,5 Zr) NASA Z (argonbearbeitetes Cu - 3 Ag - 0,5 Zr) oder GLIDCOP[®] (OFHC Cu plus 1,5 Prozent fein verteilt dispergiertes Al₂O₃) und ähnliche. GLIDCOP[®], wenn auch teuer, hat überlegene Hochtemperatur-Festigkeitseigenschaften und ist zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung sehr geeignet. Da das Verbindungsverfahren der vorliegenden Erfindung weniger anspruchsvoll als die momentan zur Verfügung stehenden Lötverfahren ist, ist es möglich, das Rohrbündel aufzulegen oder einzuspannen mit weniger strengen Toleranzen und weniger anspruchsvoller Ausrichtung. Es ist beispielsweise möglich, einen Spalt von bis zu etwa 0,762 mm (0,030 inch) unter Verwendung des Laser-Pulverinjektionsverfahrens zu überbrücken, im Gegensatz zu einer Beschränkung auf weniger als 0,203 mm (0,008 inch) beim Löten. Da das Laser-Pulverinjektionsverfahren des Verbindens der Rohre miteinander das Füllen von größeren Spalten zwischen den zu verbindenden Oberflächen erlaubt, erlaubt es ein viel

größeres Spiel beim Zusammenbau des Rohrbündels, was zu wesentlichen Zeit- und Kostenvorteilen führt.

5 Das Metall, das zum Verbinden der Rohre miteinander verwendet wird, kann entweder ein konventionelles Hartlötmaterial sein, wie es zum Löten des Substratmaterials geeignet wäre, das Substratmaterial selbst, oder eine damit kompatible Legierung. Somit kann das Füllmaterial irgendeines der vorangehend angeführten Materialien für die Rohre selbst, ein Hartlötmaterial, wie Gold-Germanium, ein
10 Diffusionsverbindungsmaterial wie Kupfer oder ein anderes Hartlöt- oder Diffusionsverbindungsmaterial sein, das dem Fachmann bekannt ist. Das Laser-Pulverinjektionsverbinden der Rohre wird am günstigsten an der Außenoberfläche des Rohrbündels, d. h. dem Äußeren der Schubkammer durchgeführt. Nachdem die Räume zwischen den einzelnen
15 Rohrsegmenten durch Laser-Pulverinjektion des Füllmaterials gefüllt wurden, kann das Laser-Pulverinjektionsverfahren fortgesetzt werden, um die Rohroberflächen, falls gewünscht, zu bedecken, um eine glatte äußere Oberfläche zu bilden.

20 Das so verbundene Rohrbündel kann dann mit der Legierung für die strukturelle Ummantelung, vorzugsweise einer hochfesten, wasserstoffresistenten Legierung mit einem niedrigen Expansionskoeffizienten, umgeben werden. Geeignete Materialien für die strukturelle Ummantelung umfassen Materialien wie rostfreier Stahl 347, INCONEL® 718, INCONEL® 625 oder eine Kupferlegierung wie
25 GLIDCOP®. Die strukturelle Ummantelung kann durch Anschweißen oder Anlöten in Position von Blech des passend geformten Materials oder alternativ durch Elektroplattinieren der Nickellegierungen in einem konventionellen Elektroplattinierbad aufgebracht werden. Da aber das
30 Elektroplattinieren einer Nickellegierung ausreichender Dicke, z. B. 7,62 bis 12,7 mm (0,30 bis 0,50 inch) bis zu sechs Monate Plattinierens bedarf, ist dieses Verfahren weniger erwünscht. Ein effizienteres Verfahren zum Erzeugen der strukturellen Ummantelung über den durch Laser-Pulverinjektion verbundenen Rohrbündeln, die gemäß der

vorliegenden Erfindung hergestellt wurden, ist, eine geeignete Legierung durch ein Plasmasprühverfahren oder ein Flammensprühverfahren in Position zu bringen. Eine solche Legierung kann rostfreien Stahl 347, INCONEL® 718, INCONEL® 625, GLIDCOP® oder andere geeignete Legierungen umfassen, die so ausgewählt sind, daß sie mit den Rohren unter der Oberfläche und den zum Verbinden der Rohre zu einem einstückigen Bündel abgeschiedenen Füllmaterial kompatibel sind. Außerdem kann die strukturelle Ummantelung durch Lasereinjektion des Legierungsmaterials statt durch ein Plasmasprühverfahren erzeugt werden. Das ist insbesondere zur Vermeidung eines Überhitzens oder eines Überbeanspruchens des Substratrohrmaterials oder des Füllmaterials durch hohe Temperaturen von Wert, da das Laser-Pulverinjektionsverfahren an dem Abscheidepunkt nicht zu hohen Temperaturen führt.

Ein weiterer Vorteil des bei der vorliegenden Erfindung verwendeten Laser-Pulverinjektionsverfahrens ist die Fähigkeit, nach dem Abschluß des Verbindeschritts und der Inspektion der Schubkammer eine miteinander verbundene Rohranordnung leicht reparieren zu können. Falls irgendwelche nicht perfekt verbundenen Spalte zwischen den Rohren entdeckt werden, können die Spalte leicht einer Laser-Pulverinjektion mit Füllmaterial unterzogen werden, um so den Defekt zu reparieren. Häufig wird, falls ein Lötdefekt nach dem Verbinden der Rohre mit einem Lotmaterial festgestellt wird, das gesamte Rohrbündel zerlegt, da das Unterziehen der Anordnung einem zweiten Lötzyklus häufig zu einem Fließen des Lotmaterials weg von der Nut zwischen benachbarten Rohren und zu einem Verlust der Kontinuität der Verbindung führt. Da aber das Laser-Pulverinjektionsverfahren nicht zu einem bedeutenden Erwärmen des Substrats führt, kann dieses Verfahren zur Reparatur von mit Defekten gelöteten Rohren verwendet werden. Man beachte, daß die Verwendung des Laser-Pulverinjektionsverfahrens zur Reparatur einer verbundenen Rohranordnung, die durch Löten hergestellt wurde, nicht unter den Umfang der Ansprüche fällt. Tatsächlich erlaubt das Laser-Pulverinjektionsverfahren die Reparatur

von Verbindungsdefekten, selbst nachdem die strukturelle Ummantelung über der Außenoberfläche der Schubkammer aufgebracht wurde, da Reparaturen mit dem Laser-Pulverinjektionsverfahren an dem Inneren der Rohranordnung durchgeführt werden können, um kleinere Spalte in den Verbindungen zwischen den einzelnen Rohren, die sich während des Aufbringens der strukturellen Ummantelung gebildet haben können, zu füllen.

In der Fig. 1 ist eine Schubkammer 10 eines Raketentriebwerks gezeigt mit einer Längsachse A - B, einem Kopf oder Injektor 20, einer zusammengesetzten Wandanordnung 11, einer Brennkammer 15, einem Hals 16 und einer Düse 17. Die zusammengesetzte Wandanordnung 11 weist die strukturelle Ummantelung 12 und eine Mehrzahl von aus einer Gruppe oder einem Bündel von geformten und gestalteten, einzelnen, sich in Längsrichtung erstreckenden Rohren zusammengesetzten Kühlpassagen 13 und 14 auf, die Seite an Seite plaziert sind, um eine im wesentlichen kreisförmige Kammer mit zusammengesetzter Krümmung zu bilden, die axial von einer nicht gezeigten Verteilereinrichtung für ein Flüssigkühlmittel an dem Ende der Düse 17 zu dem Kopf oder Injektor 20 verläuft. Die Rohre sind mit der äußeren strukturellen Ummantelung 12 aus Metall verbunden, die wie vorangehend angegeben erzeugt wurde, die sowohl dazu dient, die Schubkammer abzudichten und eine Leckage von Abgasen aus dieser zu verhindern, als auch, um dem durch die Verbrennung der Raketenkraftstoffe erzeugten Druck darin zu widerstehen. Die Rohre 13 und 14 dienen als die Wand der Schubkammer und bilden eine Reihe von in Längsrichtung verlaufenden Kühlmittelpassagen über die Länge der Kammer. Diese Rohre bestehen aus einem leicht zu formenden Material hoher Wärmeleitfähigkeit, wie Kupfer, und sind durch die Verwendung gewöhnlicher Formgebungsformen unter gleichzeitigem Aufbringen von Innendruck zur Vermeidung eines Kollabierens des Rohres in Form gebracht. Nach dem Formen besitzen die Rohre eine in Längsrichtung gekrümmte Gestalt, im wesentlichen so wie in Fig. 1 gezeigt. Die Schubkammerwand 11 wird durch das Strömen von flüssigem

Treibmittel durch die Kühlmittelrohre 13 und 14 in der in Fig. 1 durch die Pfeile angegebenen Richtung, d. h. von dem Düsenende der Kammer in Richtung zu dem Injektor, gekühlt.

5 Fig. 2 zeigt eine Endansicht der Schubkammer 10 von Fig. 1 im Querschnitt und zeigt die Wandanordnung 11 mit der strukturellen Ummantelung 12 und den Kühlrohren 13 und 14. Ebenso sind der Schubkammerhals 16 und die Düse 17 gezeigt.

10 Fig. 3, ein Querschnitt, der entlang der Linie 3-3 von Fig. 1 genommen wurde, zeigt in vereinfachter, schematischer Form eine Mehrzahl von dünnwandigen Metall-Kühlmittelrohren 13, einander benachbart und miteinander ausgerichtet, die miteinander und mit der Innenoberfläche der strukturellen Ummantelung 12 verbunden sind. Die Rohre sind
15 miteinander durch Laserpulverinjektion von Füllmaterial 18 an den Verbindungsstellen 19 zwischen den Rohren verbunden. Die Rohre sind mit der strukturellen Ummantelung wie beschrieben verbunden. Alternativ kann die strukturelle Ummantelung eine in situ erzeugte Schicht aus Beschichtungsmaterial statt der gezeigten vorgeformten und
20 angebauten Struktur aufweisen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird Füllmaterialpulver in den Strahl eines gepulsten (oder kontinuierlichen) YAG Lasers oder eines CO₂ Lasers injiziert, der auf
25 einen Punkt über den zu verbindenden oder zu beschichtenden Oberflächen fokussiert ist, um ein Schmelzen oder Überhitzen der Oberflächen selbst zu vermeiden, und das Pulver wird in einen plastischen Zustand erhitzt und auf dem Substrat, beispielsweise der Verbindungsstelle zwischen benachbarten Kühlmittelrohren,
30 abgeschieden. Das erzeugt eine äußerst kompakte und gleichförmige Schicht des Füllmaterials, das so ausgewählt ist, daß es mit der Zusammensetzung der Rohre kompatibel ist, und vorzugsweise einen geringen Expansionskoeffizienten besitzt. Dieses Verfahren kann automatisiert und skaliert werden, um Herstellungsanforderungen zu

erfüllen. Zusätzlich zur Aufbringung des Füllmaterials auf die Verbindungsstelle oder den Spalt zwischen den Rohren kann ein solches Material durch Laser-Pulverinjektionsverfahren als eine Beschichtung über dem Rohrbündel aufgebracht werden, um die strukturelle Ummantelung in situ zu erzeugen.

Bei einer konventionellen Laser-Sprüh-Pulveraufbringung oder einem Laserplattierverfahren, wofür eine Fokussieranordnung in Fig. 4 schematisch gezeigt ist, wird ein Laserstrahl 30 hoher Intensität durch eine Endfokussierlinse 31 auf das Substrat 35 fokussiert, um ein kleines Volumen des Oberflächenmetalls zu schmelzen und ein Schmelzbad 32 zu bilden. Das pulverisierte Metallegierungsmaterial 33, das von dem Pulverinjektor 34 eingebracht wird, schmilzt in diesem Bad, verteilt sich darin und ändert die Zusammensetzung der Oberflächenschicht in der gewünschten Art. Eine Relativbewegung des Laserstrahls und des Arbeitsstücks bewirkt ein schnelles Abkühlen des geschmolzenen Materials, was infolge von Phasenänderungen in dem soliden Metall zu einem Härten führen kann. Bei einem konventionellen Laserplattiergerät und derartigen Verfahren verlassen der Laserstrahl und das Pulver die Laserstrahldüse im wesentlichen koaxial und haben den gleichen Brennpunkt auf der Oberfläche des zu beschichtenden Substrats.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung befindet sich aber der Brennpunkt nicht auf der Oberfläche des Gegenstands, wie es übliche Praxis ist, sondern an einem Punkt ein wenig oberhalb der Oberfläche der zu verbindenden Rohre. Wie in der Fig. 5 gezeigt, wird der Laserstrahl 40 von einer Endfokussierlinse 41 auf einen Punkt oberhalb der Rohre, z. B. das Substrat 45, fokussiert und bildet so eine defokussierte heiße Zone 46, in die das Pulver 43 mittels einer Pulverinjektionseinrichtung 44 eingebracht wird. Auf diese Art waren wir bei geeigneter Kontrolle der Laserstrahlintensität und des Laserstrahlbrennpunkts in Verbindung mit der Wahl der Pulvergröße und der Strömungsrate in der Lage, die Pulverteilchen ausreichend zu erhitzen, so daß sie an der Auftreffstelle auf das Substrat plastisch

5 verformt werden, jedoch nicht bis zu dem Punkt, bei dem die Mikrostruktur des Füll- oder Beschichtungsmaterials oder des Substrats verändert wird. Das heißt, daß die Mikrostruktur der Legierung der Hauptmatrix durch das schnelle Lasererhitzen des Pulvers gefolgt von dem plötzlichen Abkühlen, das sich aus dem Abscheiden auf einem relativ kühlen Substrat, welches als eine Wärmesenke wirkt, unverändert bleibt. Außerdem ist ein schneller Aufbau von Material möglich, um die Verbindungsstelle oder den Spalt zwischen den Rohren schnell und gleichförmig zu füllen.

10 Der tatsächliche physische Zustand des Pulvers auf seiner höchsten Temperatur ist nicht völlig verstanden, aber man glaubt, daß das Pulver völlig geschmolzen wird, und sich mit einer derart schnellen Geschwindigkeit wieder verfestigt, daß eine nicht ausreichende Migration oder ein nicht ausreichendes Zusammenwachsen der
15 Oxidteilchen erfolgt, um die Mikrostruktur des Materials beeinflussen zu können. Alternativ hält man es für möglich, daß die Oberflächen der einzelnen Pulverkörner dem Schmelzen ausgesetzt sind, während der Kern oder die Zentralbereiche der Pulverkörner in einem halbsoliden oder soliden Zustand verbleiben, so daß Grenzen zwischen den einzelnen
20 Pulverkörnern zusammenwachsen. In jedem Fall gibt es zwischen den einzelnen abgeschiedenen Pulverkörnern keinerlei Grenzen mehr. Zu Zwecken dieser Anmeldung soll dieser Prozeß als Nicht-Gleichgewichtsschmelzen bezeichnet werden.

25 Die Fähigkeit, dieses Ergebnis zu erzielen, ist abhängig von einer großen Anzahl von Faktoren, von denen die bedeutendsten die Laserintensität, die Pulverzusammensetzung und die -größenverteilung, die Pulverfließrate, der Abstand des Brennpunkts über dem Substrat und
30 die Relativbewegung des Lasers und des Arbeitsstücks sind. Obwohl die vorliegende Erfindung das Abscheiden von Füllmaterial auf jedem Substrat erlaubt, mit dem sich das Metall verbinden wird, soll angemerkt werden, daß es sich bei der Verbindung nicht um eine Diffusionsverbindung oder eine vollständige metallurgische Verbindung

handelt, da die Oberflächenschicht des Substrats einem Schmelzen nicht unterzogen wird, weder in einem bedeutenden Ausmaß noch vollständig. Die abgeschiedenen Materialien, die man erhält, sind aber sehr gleichförmig und von hoher Dichte (die an 100% des theoretisch möglichen heranreicht). Außerdem können mehrere Überzugsschichten sehr schnell aufgebracht werden, um jede gewünschte Dicke des abgeschiedenen Materials zu erzielen, da keinerlei Wärmebehandlung des Substrats oder des Abscheidematerials erforderlich ist, um das sich ergebende Füllmaterial zu glätten, zu tempern oder zu verdichten. Außerdem hat man ins Auge gefaßt, in der Lage zu sein, die Zusammensetzung der einzelnen aufgetragenen Metallschichten zu ändern, was das Einrichten von Zusammensetzungsgradienten oder Zusammensetzungsänderungen von der Rohroberfläche zu der Außenoberfläche erlaubt. Diese Variante eignet sich für die in situ Herstellung der strukturellen Ummantelung, indem sie es einem erlaubt, ein spezielles Füllmaterial zum Verbinden der Rohre miteinander aufzubringen und dann das Beschichtungsmaterial zu ändern, um eine strukturelle Ummantelung unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlicher Eigenschaften bereitzustellen.

Ein für die vorliegende Erfindung geeignetes Gerät ist schematisch in der Fig. 6 gezeigt, wobei das Target 55 an einer Roboterarbeitsstation 52 innerhalb einer optionalen Laser-Sicherheitseinschließung 53 angeordnet ist. Die Laserquelle 50, die eine Fokussierlinse 51 aufweist, ist von dem Target einen gewünschten Abstand weg in der Nähe der Pulverinjektoren 54 positioniert, die ihrerseits über die Leitung 56 von der Pulverquelle 57 beschickt werden. Die Ausrüstung ist derart angeordnet, daß das Füllmetallpulver von der Pulverquelle 57 in eine defokussierte heiße Zone des Laserstrahls 58 in einem vorbestimmten Abstand von dem Target eingebracht wird. Das Pulver, das eine Größe von etwa minus 100 bis etwa plus 325 mesh (45 bis 150 Mikrometer) haben kann, ist vorzugsweise von etwa minus 100 bis plus 200 mesh (75 bis 150 Mikrometer) und wird vorzugsweise mit einer hohen Geschwindigkeit in einem Inertgasstrom wie Argon befördert, wird

erhitzt und praktisch gleichzeitig auf dem Target, der Verbindungsstelle zwischen benachbarten Rohren, welches sich relativ zu der Laserquelle in Bewegung befindet, abgeschieden. Die Arbeitsstation ist vorzugsweise roboterartig mit von 3 bis 6 Freiheitsgraden und kann hydraulisch, elektrisch, pneumatisch oder durch irgendeine Kombination aus diesen angetrieben sein. Die Roboterarbeitsstation kann nach konventioneller Art computergesteuert sein. Es wird angemerkt, daß das Arbeitsstück alternativ stationär bleiben kann, während sich der Laser und die Pulverinjektionsdüsen relativ zu dem Target bewegen. Der Laser kann beispielsweise ein gepulster YAG Laser sein, obwohl auch kontinuierliche Laser bei der vorliegenden Erfindung ebenso nützlich sind, vorausgesetzt, daß der Laser mit der abzuschneidenden Legierung metallurgisch kompatibel ist. Verschiedene Arten von Laser können verwendet werden, vorausgesetzt, sie haben eine Fokussiereigenschaft und können in Verbindung mit einer typischen Pulversprühdüse verwendet werden. Es ist wichtig, daß der Laser derart fokussiert werden kann, daß er nicht direkt auf dem Substrat fokussiert, da ein Schmelzen der Oberfläche speziell vermieden sein soll. Ein zweiter Laser oder irgendeine andere Einrichtung kann zu Ausrichtungszwecken verwendet werden. Die Arbeitsparameter des Lasers sind computergesteuert und mit der Roboterarbeitsstation verbunden, um eine optimierte äußerst zuverlässige Abscheidung zu erzielen.

Die Sprühdüse ist so ausgewählt, daß sie einen kontinuierlichen Strom von Metallpulverteilchen in die defokussierte heiße Zone bei einem Punkt ein wenig von dem zu beschichtenden Substrat entfernt liefert, wie in Fig. 5 gezeigt. Das eingebrachte Pulver wird von dem Laser auf eine Temperatur erhitzt, bei der das Pulver in einem plastischen Zustand ist oder einem Zustand des Nicht-Gleichgewichtsschmelzens. Das Beschichtungsmaterial in der Form des fein verteilten Pulvers in einem plastischen Zustand, das in einem sich schnell bewegenden inerten Gasstrom getragen wird, trifft dann auf die relativ kalten Oberflächen des Verbindungsbereichs des Targets zwischen den Rohren und wird darauf verteilt. Die schnelle Kühleinwirkung (die auf mindestens $5,56 \times$

10³°C pro Sekunde (10⁴°F pro Sekunde) geschätzt wird) des Auftreffens auf die Oberfläche stellt ein schnelles Kühlen des Füllmaterials sicher, so daß das Füllmaterial metallurgisch nicht geändert wird. Da das Pulver einem Nicht-Gleichgewichtsschmelzen ausgesetzt ist und das Substrat durch den Laser nicht in einem Maß erhitzt wird, daß es zu einem Schmelzen der Oberflächenschicht kommt, bildet die abgeschiedene Schicht mit dem Substrat keine Legierung, sondern beschichtet dessen Oberfläche. Der Brennpunkt des Lasers kann sich von etwa 2,54 mm (0,10 inch) bis etwa 25,4 mm (1,0 inch) über der Oberfläche des Arbeitsstücks befinden. Die Strömungsgeschwindigkeit des Pulvers kann durch die Kontrolle des Trägergases, beispielsweise Argon, kontrolliert werden, um das Pulver mit einer Rate von etwa 8 Gramm/Minute bis etwa 20 Gramm pro Minute abzuscheiden. Es sei darauf hingewiesen, daß, obwohl sich die vorangegangene Erläuterung auf die Verwendung von Füllmetalllegierungspulver bezieht, die Verwendung von einem dem Laserinjektor zugeführten Draht natürlich innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung ist. Es soll auch angemerkt werden, daß verschiedene Laserarten verwendet werden können, beispielsweise YAG Laser im Leistungsbereich von etwa 25 bis 400 Watt oder ein CO₂-Laser von etwa 25 bis 6000 Watt. Der Laser kann entweder im kontinuierlichen oder im gepulsten Betriebszustand betrieben werden.

Beispiel

Kupferrohre einer Größe, wie sie üblicherweise für die Herstellung von Schubkammern des Rohrtyps verwendet werden, wurden zu der in Fig. 1 gezeigten Gestalt einer Raktenschubkammer geformt. Die Rohre wurden in enger Näher zueinander angeordnet, so daß sie eine "Mae West" Form einschließen. Ein YAG Laser wurde zum Abscheiden von rostfreiem Stahl 347 von einer Drahtquelle eingestellt und verwendet, um eine Verbindungsschicht des rostfreien Stahls zwischen benachbarten Rohren abzuscheiden. Zwischen den Rohren wurde eine kräftige Verbindung erzeugt mit einem minimalen Ausmaß einer

20.04.98

- 17 -

5 wärmebeeinflussten Zone, die sich außerhalb des tatsächlichen Beschichtungsbereichs entwickelt hat, und ohne eine defektbehaftete Verbindung oder einen ungefüllten Spalt zwischen den Rohren. Die Verbindung war Verbindungen zumindest ebenbürtig, die bei Verwendung konventioneller Lotverfahren beobachtet werden, und war beträchtlich unproblematischer und kosteneffektiver zu erzielen.

10 Man sollte erkennen, daß die vorangegangene Beschreibung der vorliegenden Erfindung durch den Fachmann einer bedeutsamen Modifikation, Änderung und Anpassung ausgesetzt sein kann und daß derartige Modifikationen, Änderungen und Anpassungen als innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung, wie sie durch die angefügten Ansprüche definiert ist, liegend betrachtet werden sollen.

15

695 01 555.9

ANSPRÜCHE

- 5
1. Verfahren zum Herstellen einer Raketenschubkammer (10) mit einer Brennkammer (15), einem Halsabschnitt (16) und einem Düsenabschnitt (17), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Formen einer Mehrzahl von länglichen hohlen Rohren (13, 14) mit einer Gestalt, die der Form einer Raketenschubkammer entspricht; Erzeugen eines länglichen hohlen Elements durch umfangsmäßig Platzieren der hohlen Rohre in einer parallelen Relation Seite an Seite und in einer gleich beabstandeten, einkreisenden Relation zu einer gemeinsamen Längsachse (A-B); Aufbringen eines Füllmaterials (18) auf die Bereiche zwischen den Rohren in Relation Seite an Seite, um die Bereiche zwischen den Rohren vollständig zu füllen und die Rohre miteinander zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, daß das Füllmaterial (18) durch Lasereinjectionsschweißen aufgebracht wird.
- 10
- 15
- 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Rohre (13, 14) aus einem Material bestehen, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Kupferlegierungen, Nickellegierungen und Legierungen aus rostfreiem Stahl besteht.
- 25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Füllmaterial (18) aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Kupferlegierungen, Nickellegierungen, Legierungen aus rostfreiem Stahl, Hartlötmaterialien und Diffusionsverbindungsmaterialien besteht.
- 30
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei es sich bei dem Füllmaterial (18) um das gleiche Material handelt wie die Zusammensetzung der Rohre (13, 14).

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei auf das Äußere des länglichen hohlen Elements eine strukturelle Umhüllung (12) aufgebracht wird.
- 5
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Umhüllung (12) durch Laserinjektionsbeschichten aufgebracht wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Füllmaterial (18) ein dispersionsverfestigtes Material ist.
- 10
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Laserinjektionsschweißen die folgenden Schritte aufweist:
- 15
- a) Fokussieren eines Laserstrahls auf einen Punkt, der sich von etwa 2,54 bis 25,4 mm oberhalb der Oberfläche (45), auf die das Füllmaterial (18, 43) aufgebracht werden soll, befindet;
- b) Einbringen des Füllmaterial in den Laserstrahl nahe dem Brennpunkt.
- 20
9. Verfahren nach Anspruch 6, wobei sich die Zusammensetzung der Ummantelung über die Dicke der Ummantelung ändert.

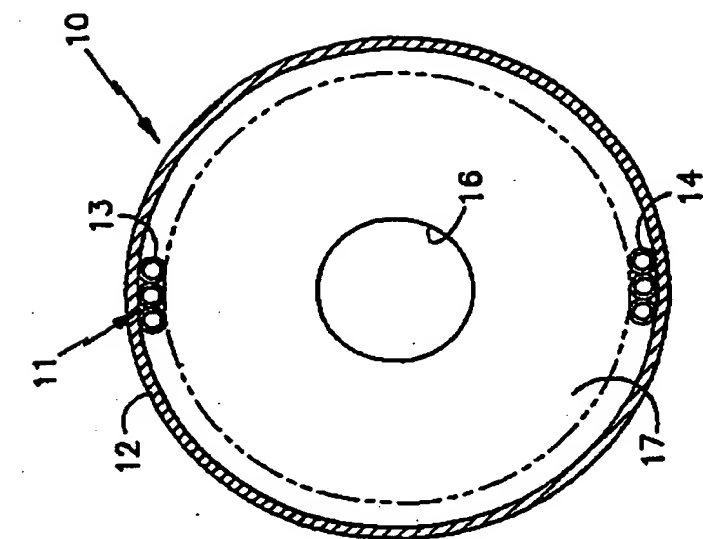


Fig. 2

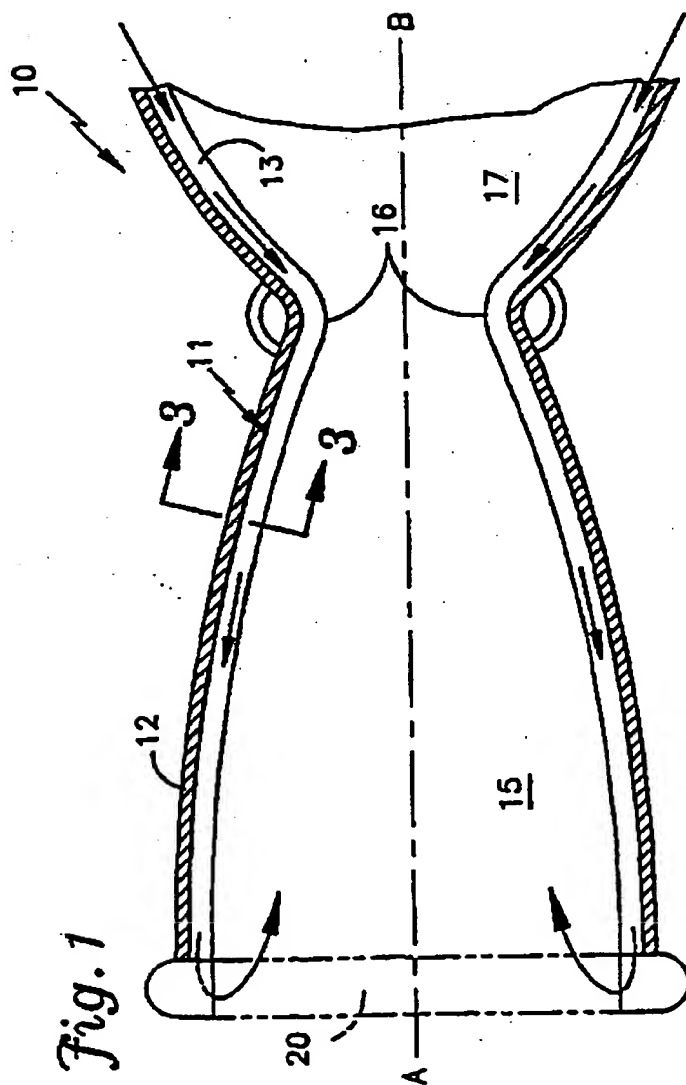


Fig. 1

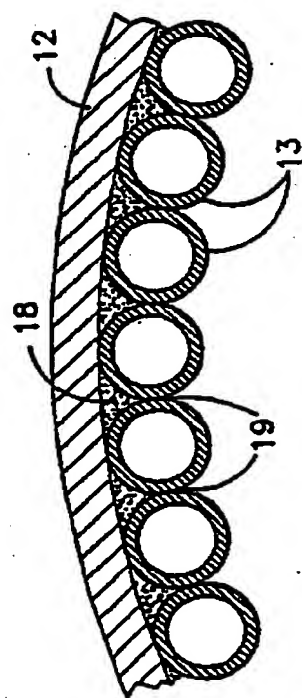
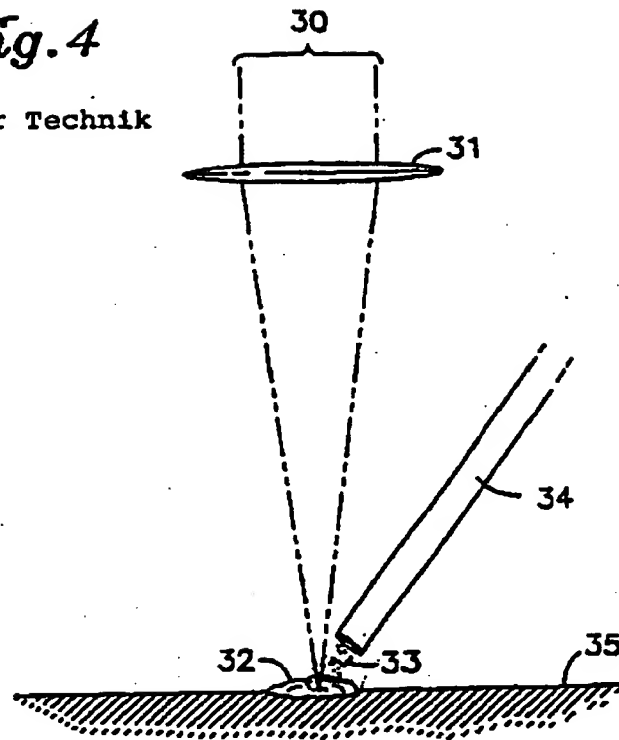
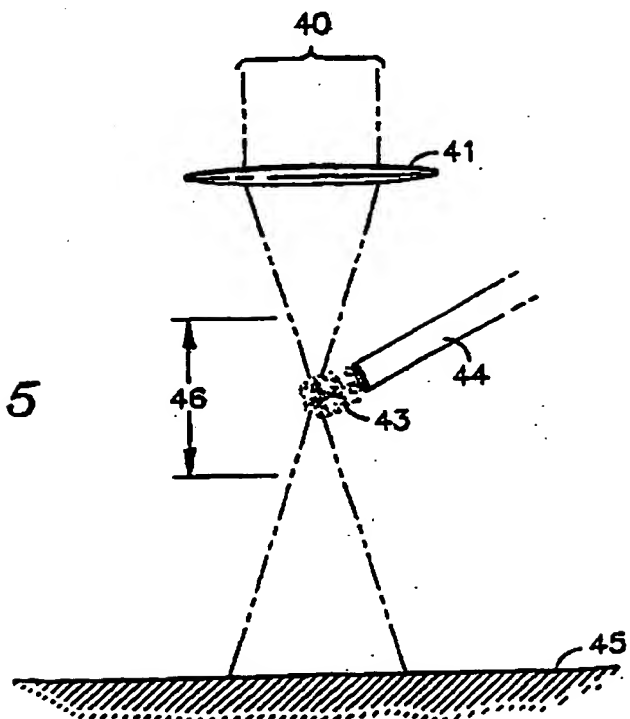


Fig. 3

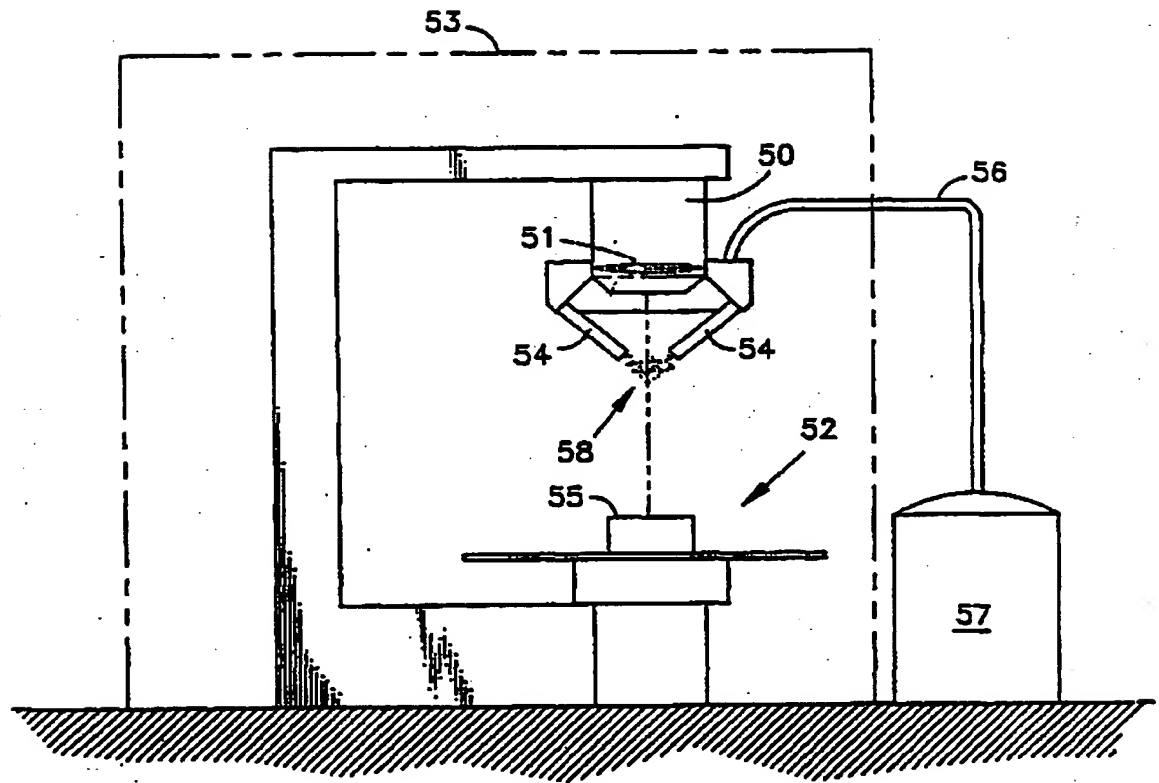
Fig. 4

Stand der Technik

*Fig. 5*

20.04.98

Fig. 6



THIS PAGE BLANK (USPTO)